

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-296471

(43)Date of publication of application : 26.10.2001

(51)Int.Cl. G02B 13/00
 G02B 3/04
 G02B 3/08
 G11B 7/135

(21)Application number : 2000-113061 (71)Applicant : ASAHI OPTICAL CO LTD

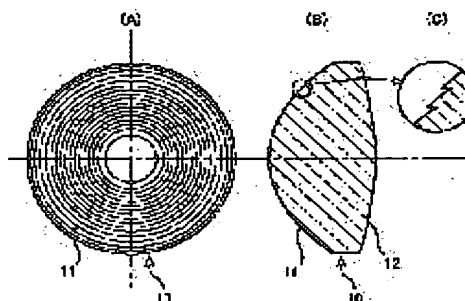
(22)Date of filing : 14.04.2000 (72)Inventor : TAKEUCHI SHUICHI

(54) OBJECTIVE LENS FOR OPTICAL HEAD

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an objective lens by which chromatic aberration is excellently corrected in a short wavelength region.

SOLUTION: The objective lens 10 is a single biconvex lens having two lens surfaces 11 and 12, and a concentric zonal diffraction lens structure centering an optical axis is formed on a first surface 11. The lens surfaces 11 and 12 are both aspherical. A step in an optical axis direction is provided at the boundary of each zone like a Fresnel lens, so that it has a function to correct the chromatic aberration caused at a dioptric lens part by the diffraction lens structure. A second surface 12 is a consecutive surface without having the diffraction lens structure. The objective lens 10 is formed of a lens material satisfying the condition of $1/(\nu \cdot 3 \cdot \lambda \times 10^{-6}) < 0.0045$ by a relation with used wavelength λ nm. ν means Abbe number thereof on a d line.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

BEST AVAILABLE COPY

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-296471

(P2001-296471A)

(43) 公開日 平成13年10月26日 (2001. 10. 26)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード* (参考)
G 0 2 B	13/00	G 0 2 B	13/00
	3/04		3/04
	3/08		3/08
G 1 1 B	7/135	G 1 1 B	7/135
			A

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 21 頁)

(21) 出願番号 特願2000-113061 (P2000-113061)

(22) 出願日 平成12年4月14日 (2000. 4. 14)

(71) 出願人 000000527

旭光学工業株式会社

東京都板橋区前野町 2 丁目36番 9 号

(72) 発明者 竹内 修一

東京都板橋区前野町 2 丁目36番 9 号 旭光学工業株式会社内

(74) 代理人 100098235

弁理士 金井 英幸

Fターム(参考) 2H087 KA13 LA01 NA01 PA01 PA17

PB01 QA02 QA07 QA14 QA34

RA05 RA12 RA13 RA26

5D119 AA11 AA22 BA01 EC03 JA44

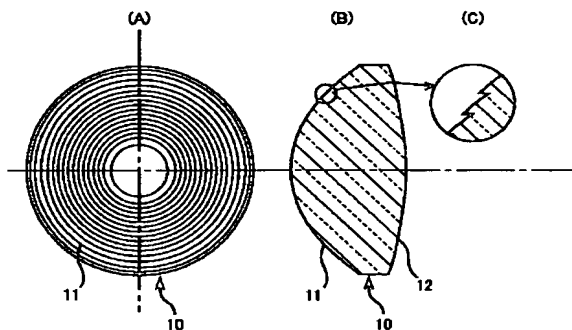
JB01 JB02 JB03 JB04

(54) 【発明の名称】 光ヘッド用対物レンズ

(57) 【要約】

【課題】 短波長領域において色収差を良好に補正することができる対物レンズを提供すること。

【解決手段】 対物レンズ10は、2つのレンズ面11、12を有する両凸の単レンズであり、第1面11に光軸を中心とする同心輪帯状の回折レンズ構造が形成されている。レンズ面11、12はいずれも非球面である。回折レンズ構造は、フレネルレンズのように各輪帯の境界に光軸方向の段差を持ち、屈折レンズ部分で発生する色収差を補正する機能を有している。第2面12は、回折レンズ構造を持たない連続面である。対物レンズ10は、使用波長 λ nmとの関係で、 $1/(\nu^3 \cdot \lambda \times 10^{-6}) < 0.0045$ の条件を満たすレンズ材料により形成されている。 ν はd線に対するアッペ数である。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 光源から発するF線より短い波長の光束を光ディスクの記録面上に収束させる光ヘッド用対物レンズであって、
光軸から周辺に向かって曲率半径が大きくなる非球面を少なくとも1面有する単レンズであり、少なくともいずれかのレンズ面にブレイズ化された色収差補正用の回折レンズ構造が形成されており、以下の条件[1]を満たすことを特徴とする光ヘッド用対物レンズ。

$$-0.015 < [\Delta n \cdot fD \cdot f / \{(n-1) \cdot (fD-f)\}] - \Delta nd \cdot td / nd^2 \cdot fD(f \cdot NA / uhd)^2 / f < -0.007 \quad \cdots [1]$$

$$-0.3 < \phi_4 / \phi_2 < 0.3 \quad \cdots [3]$$

ただし、

Δn : 波長 $(\lambda + 1)$ nmでの屈折率 n_{+1} 、波長 $(\lambda - 1)$ nmでの屈折率 n_{-1} を用いて以下の式で表されるレンズ材料の屈折率の変化率、

$$\Delta n = (n_{+1} - n_{-1}) / 2$$

P_i : 回折レンズ構造による光路長の付加量 ϕ を光軸からの高さ h 、回折次数 m を用いて以下の式で表したときの i 次の光路差係数、

$$\phi(h) = (P_0 + P_2 h^2 + P_4 h^4 + P_6 h^6 + \cdots) \times m \times \lambda$$

fD : 次の式で求められる回折レンズ構造単独の焦点距離、

$$fD = -[1 / (2 \cdot P_2 \cdot m \cdot \lambda)]$$

f : 対物レンズ全体の焦点距離、

Δnd : 波長 $(\lambda + 1)$ nmでの屈折率 nd_{+1} 、波長 $(\lambda - 1)$ nmでの屈折率 nd_{-1} を用いて以下の式で求められる光ディスク保護層の屈折率の変化率、

$$-0.015 < [\Delta n \cdot fD \cdot f / \{(n-1) \cdot (fD-f)\}] \cdot fD(f \cdot NA / uhd)^2 / f < -0.007 \quad \cdots [4]$$

$$-0.3 < \phi_4 / \phi_2 < 0.3 \quad \cdots [3]$$

ただし、

Δn : 波長 $(\lambda + 1)$ nmでの屈折率 n_{+1} 、波長 $(\lambda - 1)$ nmでの屈折率 n_{-1} を用いて以下の式で表されるレンズ材料の屈折率の変化率、

$$\Delta n = (n_{+1} - n_{-1}) / 2$$

P_i : 回折レンズ構造による光路長の付加量 ϕ を光軸からの高さ h 、回折次数 m を用いて以下の式で表したときの i 次の光路差係数、

$$\phi(h) = (P_0 + P_2 h^2 + P_4 h^4 + P_6 h^6 + \cdots) \times m \times \lambda$$

fD : 次の式で求められる回折レンズ構造単独の焦点距離、

$$fD = -[1 / (2 \cdot P_2 \cdot m \cdot \lambda)]$$

f : 対物レンズ全体の焦点距離、

NA : 対物レンズの開口数、

uhd : 回折レンズ構造が形成された面の有効半径、

ϕ_2 : 次の式で求められる2次の光路差係数による回折レンズ構造が形成された面の最大径での光路長差、

$$\phi_2 = P_2 \cdot uhd^2 \times m \times \lambda$$

ϕ_4 : 次の式で求められる4次の光路差係数による回折

$$* 1 / (v^3 \cdot \lambda \times 10^{-6}) < 0.0045 \quad \cdots [1]$$

ただし、 v はd線に対するアッペ数、 λ は使用波長(単位: nm)である。

【請求項2】 レンズ材料がガラスであることを特徴とする請求項1に記載の光ヘッド用対物レンズ。

【請求項3】 前記記録面を覆う透明保護層が設けられた光ディスクに適用され、以下の条件[2],[3]を満たすことを特徴とする請求項1または2に記載の光ヘッド用対物レンズ。

$$* \Delta nd = (nd_{+1} - nd_{-1}) / 2$$

td : 光ディスクの保護層の厚さ、

NA : 対物レンズの開口数、

uhd : 回折レンズ構造が形成された面の有効半径、

ϕ_2 : 次の式で求められる2次の光路差係数による回折レンズ構造が形成された面の最大径での光路長差、

$$\phi_2 = P_2 \cdot uhd^2 \times m \times \lambda$$

20 ϕ_4 : 次の式で求められる4次の光路差係数による回折レンズ構造が形成された面の最大径での光路長差である。

$$\phi_4 = P_4 \cdot uhd^4 \times m \times \lambda$$

【請求項4】 前記記録面が保護層により覆われていない光ディスクに適用され、以下の条件[3],[4]を満たすことを特徴とする請求項1または2に記載の光ヘッド用対物レンズ。

レンズ構造が形成された面の最大径での光路長差である。

$$\phi_4 = P_4 \cdot uhd^4 \times m \times \lambda$$

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 この発明は、光ディスクに対して情報を記録し、あるいは再生する光ヘッドに用いられる対物レンズに関する。

【0002】

【従来の技術】 光ディスクの記録密度を高めるためには、光ディスクの記録面上に形成されるビームスポットの径を小さく絞る必要がある。スポット径は、開口数NAに反比例し、波長に比例するため、対物レンズのNAを大きくし、あるいは光源の波長を短くすることにより記録密度を高めることができる。

【0003】 NAを大きくするためには、有効径を大きくする必要があるが、光ヘッド用の対物レンズは単レンズで構成すると曲率半径が極めて小さくなるため、レンズ周辺部で所定の厚さを確保するためには中心部のレン

ズ厚が過大になる。したがって、高NA化により記録密度を高めようとする、対物レンズのサイズ、重量が大きくなり、装置の小型化を妨げるという問題がある。

【0004】一方、使用波長を短くすると、レンズ材料の屈折率の波長依存性が大きくなる。例えば、現在対物レンズに多く使われている材料の650nm付近での屈折率の波長依存性は $-3 \times 10^{-5} [\text{nm}^{-1}]$ 程度であるのに対し、同じ材料の400nm付近での屈折率の波長依存性はその5倍の $-15 \times 10^{-5} [\text{nm}^{-1}]$ 程度である。光源として一般に用いられる半導体レーザーは、製品の個体毎に発振波長にバラツキがある上、温度変化等によっても発振波長が変化するため、対物レンズは波長変動による収差の変動を抑える必要がある。特に、波長が短くなると上記のように屈折率の変化率が大きくなるばかりでなく焦点深度も小さくなるため、短波長の領域では色収差の補正が重要である。

【0005】対物レンズの色収差補正の方法としては、特開平3-155514号公報、特開平3-155515号公報等に開示されるように複数のガラスレンズを組み合わせる方法、あるいは、特開平11-337818号公報等に開示されるように回折作用を利用する方法等が知られている。特開平11-337818号公報には、回折レンズ構造のみの焦点距離 f_D と屈折レンズと回折レンズ構造とを合わせた全体の焦点距離 f との関係が、 $40 < f_D/f$ を満たすことが望ましいことが記載されている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、光学ガラス、特に分散の大きい光学ガラスの内部透過率は短波長側で著しく低下するため、複数のガラスレンズを組み合わせる方法では光量の損失が大きくなるという問題を生じる。他方、回折作用を利用する特開平11-337818号公報に記載された方法では、上記の条件を400nm近辺の短波長領域で適用すると、現在知られているどのようなレンズ材料をもってしても満足な色収差補正は不可能である。

【0007】この発明は、上述した従来技術の問題点を鑑み、F線(波長486nm)より短い短波長領域において色収差を良好に補正することができる光ヘッド用対物レンズを提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】この発明にかかる光ヘッド用対物レンズは、光源から発するF線より短い波長の光束を光ディスクの記録面上に収束させるレンズであって、光軸から周辺に向かって曲率半径が大きくなる非球*

$$\begin{aligned} -0.015 < [\Delta n \cdot f_D \cdot f / \{(n-1) \cdot (f_D - f)\} - \Delta n d \cdot t_d / n d^2] \\ \cdot f_D (f \cdot NA / uhd)^2 / f < -0.007 \quad \cdots [2] \\ -0.015 < [\Delta n \cdot f_D \cdot f / \{(n-1) \cdot (f_D - f)\}] \\ \cdot f_D (f \cdot NA / uhd)^2 / f < -0.007 \quad \cdots [4] \end{aligned}$$

$$-0.3 < \phi_1 / \phi_2 < 0.3 \quad \cdots [3]$$

ただし、

50 Δn : 波長 $(\lambda + 1)\text{nm}$ での屈折率 n_{+1} 、波長 $(\lambda - 1)\text{nm}$ での

*面を少なくとも1面有する単レンズであり、少なくともいずれかのレンズ面にブレース化された色収差補正用の回折レンズ構造が形成されており、以下の条件[1]を満たすことを特徴とする。

$$1 / (\nu^3 \cdot \lambda \times 10^{-6}) < 0.0045 \quad \cdots [1]$$

ただし、 ν はd線に対するアッペ数、 λ は使用波長(単位:nm)である。

【0009】一般に、レンズ材料の波長分散はC線(656nm)、F線(486nm)、d線(588nm)における屈折率から計算されるアッペ数 ν で表される。 ν 値が大きいほど分散は小さいので、屈折レンズにより発生する色収差の量を抑えるには ν 値の大きいレンズ材料を選ぶのが望ましい。波長分散は、波長が短いほど大きくなる傾向があり、F線より短い波長領域では波長分散のレンズ材料による違いが ν 値の2乗から3乗程度になる。したがって、色収差の発生を抑えるためには、 ν 値の2乗、あるいは3乗の値の下限、若しくはその逆数の上限を適宜定めればよい。

【0010】一方、色収差補正の目安として焦点深度が考えられるが、焦点深度DOFは一般に $DOF = k\lambda / NA^2$ (k は比例定数)で表される。つまり、焦点深度は波長に比例することから、色収差の発生量の上限も λ に比例する。色収差の発生量が $1/\nu^3$ に比例すると考えれば表されたと考えれば、 $1/\nu^3 < K\lambda$ 、あるいは $1/\nu^3 K < 1$ (K は比例定数)となる。したがって、F線より短い波長領域で屈折レンズにより発生する色収差量を抑えるためには、波長 λ の逆数と、 ν 値の3乗の逆数の積がある一定の値以下になるのが望ましい。条件[1]は、この積の上限を規定している。

【0011】上記の構成によれば、条件[1]を満たすように屈折率の波長依存性と使用波長とのバランスをとることにより、屈折レンズによって発生する色収差の影響を抑えることで、波長変動による収差の変化を回折レンズ構造を用いて十分に補正することができる。

【0012】レンズ材料は、ガラスであることが望ましい。ガラスは、プラスチックと比較すると温度変化による形状や屈折率の変化が少ないため、回折レンズ構造を設計する際にこれらの影響を無視して設計することができる。さらに、記録面が透明保護層により保護された光ディスクを対象とする場合には以下の条件[2],[3]を、記録面が透明保護層により保護されない光ディスクを対象とする場合には以下の条件[4],[3]を満たすことが望ましい。

屈折率 n_{-1} を用いて以下の式で表されるレンズ材料の屈折率の変化率、

$$\Delta n = (n_{+1} - n_{-1}) / 2$$

P_i : 回折レンズ構造による光路長の付加量を光軸からの高さ h 、回折次数 m を用いて以下の式で表したときの i 次の光路差係数、

$$\phi(h) = (P_0 + P_2 h^2 + P_4 h^4 + P_6 h^6 + \dots) \times m \times \lambda$$

fd : 次の式で求められる回折レンズ構造単独の焦点距離、

$$fd = -[1 / (2 \cdot P_2 \cdot m \cdot \lambda)]$$

f : 対物レンズ全体の焦点距離、

Δnd : 波長 $(\lambda + 1)nm$ での屈折率 nd_{+1} 、波長 $(\lambda - 1)nm$ での屈折率 nd_{-1} を用いて以下の式で求められる光ディスク保護層の屈折率の変化率、

$$\Delta nd = (nd_{+1} - nd_{-1}) / 2$$

td : 光ディスクの保護層の厚さ、

NA : 対物レンズの開口数、

uhd : 回折レンズ構造が形成された面の有効半径、

ϕ_2 : 次の式で求められる2次の光路差係数による回折レンズ構造が形成された面の最大径での光路長差、

$$\phi_2 = P_2 \cdot uhd^2 \times m \times \lambda$$

ϕ_4 : 次の式で求められる4次の光路差係数による回折レンズ構造が形成された面の最大径での光路長差である。

$$\phi_4 = P_4 \cdot uhd^4 \times m \times \lambda$$

【0013】

【発明の実施の形態】以下、この発明にかかる光ヘッド用対物レンズの実施形態を説明する。図1は、実施形態にかかる対物レンズ10を示す説明図であり、(A)は正面図、(B)は縦断面図、(C)は縦断面の一部拡大図である。

【0014】対物レンズ10は、2つのレンズ面11、12を有する両凸の単レンズであり、第1面11に図1(A)に示したように光軸を中心とする同心輪帯状の回折レンズ構造が形成されている。レンズ面11、12はいずれも光軸から周辺に向かって曲率半径が大きくなる非球面である。回折レンズ構造は、図1(C)に示す通り、フレネルレンズのように各輪帯の境界に光軸方向の段差を持ち、屈折レンズ部分で発生する色収差を補正する機能を有している。第2面12は、回折レンズ構造を持たない連続面である。なお、回折レンズ構造は、第1面1*

$$-0.015 < [\Delta n \cdot fd \cdot f / \{(n-1) \cdot (fd-f)\}] - \Delta nd \cdot td / nd^2$$

$$\cdot fd(f \cdot NA / uhd)^2 / f < -0.007 \quad \dots [2]$$

$$-0.015 < [\Delta n \cdot fd \cdot f / \{(n-1) \cdot (fd-f)\}]$$

$$\cdot fd(f \cdot NA / uhd)^2 / f < -0.007 \quad \dots [4]$$

$$-0.3 < \phi_4 / \phi_2 < 0.3 \quad \dots [3]$$

ただし、 Δn : 波長 $(\lambda + 1)nm$ での屈折率 n_{+1} 、波長 $(\lambda - 1)nm$ での屈折率 n_{-1} を用いて以下の式で表されるレンズ材料の屈折率の変化率、

$$\Delta n = (n_{+1} - n_{-1}) / 2$$

*1ではなく第2面12に設けることもできる。

【0015】対物レンズ10の第1面11に形成された回折レンズ構造による光路長の付加量 ϕ は、光軸からの高さ h 、 n 次(偶数次)の光路差関数係数 P_i 、回折次数 m 、波長 λ を用いて、

$$\phi(h) = (P_2 h^2 + P_4 h^4 + P_6 h^6 + \dots) \times m \times \lambda$$

により定義される光路差関数 $\phi(h)$ により表される。付加量は、軸上の光路に対して光路長が長くなる方向を正として表す。

10 【0016】実際の回折レンズ構造の微細形状は、上記の光路差関数で表わされる光路長から波長の整数倍の成分を消去することにより、フレネルレンズ状の光路長付加量を持つように決定される。すなわち、輪帯幅は、例えば1次回折光を用いる場合には、輪帯の内周と外周とで光路差関数が一波長分の差を持つように決定される。また、輪帯間の段差は、波長を λ 、屈折率を n として、 $\lambda / (n - 1)$ で求められる。

【0017】実施形態の対物レンズ10は、以下の条件[1]を満たすレンズ材料により形成されている。

$$20 \quad 1 / (\nu^3 \cdot \lambda \times 10^{-6}) < 0.0045 \quad \dots [1]$$

ただし、 ν は d 線に対するアッペ数、 λ は使用波長(単位:nm)である。

【0018】条件[1]を満たすように、屈折率の波長依存性と波長とのバランスをとることにより、屈折レンズにより発生する色収差の影響を抑えることができ、回折レンズ構造により色収差の影響を十分に補正することができる。条件[1]の上限を越える場合には、屈折レンズにより発生する色収差が大きくなり、これを補正するために回折レンズ構造の輪帯数が多く、輪帯幅が小さくなるため、回折レンズ構造の加工が困難となり、かつ、回折効率も低下する。

【0019】対物レンズ10のレンズ材料は、ガラスである。ガラスは、プラスチックと比較すると、温度変化による形状や屈折率の変化が少ないため、回折レンズ構造を設計する際にこれらの影響を無視でき、色収差を十分に補正するよう設計することができる。

【0020】さらに、対物レンズ10は、ディスクが透明保護層を有する場合には以下の条件[2],[3]を満たし、ディスクが透明保護層を有さない場合には[4],[3]を満たす。

P_i : i 次の光路差係数、

fd : 次の式で求められる回折レンズ構造単独の焦点距離、

$$50 \quad fd = -[1 / (2 \cdot P_2 \cdot m \cdot \lambda)]$$

f : 対物レンズ全体の焦点距離、

Δn_d : 波長 $(\lambda + 1)\text{nm}$ での屈折率 $n_{d,1}$ 、波長 $(\lambda - 1)\text{nm}$ での屈折率 $n_{d,2}$ を用いて以下の式で求められる光ディスク保護層の屈折率の変化率、

$$\Delta n_d = (n_{d,1} - n_{d,2}) / 2$$

t_d : 光ディスクの保護層の厚さ、

NA : 対物レンズの開口数、

u_{hd} : 回折レンズ構造が形成された面の有効半径、

ϕ_2 : 次の式で求められる2次の光路差係数による回折レンズ構造が形成された面の最大径での光路長差、

$$\phi_2 = P_2 \cdot u_{hd}^2 \times m \times \lambda$$

ϕ_4 : 次の式で求められる4次の光路差係数による回折レンズ構造が形成された面の最大径での光路長差である。

$$\phi_4 = P_4 \cdot u_{hd}^4 \times m \times \lambda$$

【0021】条件[2]は、対物レンズ10の屈折レンズとしての作用により生じる色収差と、記録・再生の対象となる光ディスクの保護層により生じる色収差とのバランスにおいて、回折レンズ構造が形成された面の回折作用の強さを規定した条件である。条件[2]を満たすことにより、実使用時に色収差の発生を抑えることができる。条件[2]の下限を下回る場合には、回折レンズ構造による色収差補正効果が不足し、上限を上回る場合には、回折レンズ構造による色収差補正効果が過剰になる。

【0022】一方、条件[4]は、光ディスクの保護層がない場合の対物レンズ10の回折レンズ構造の回折作用の強さを規定した条件である。条件[4]を満たすことにより、実使用時に色収差の発生を抑えることができる。条件[4]の下限を下回る場合には、回折レンズ構造による色収差補正効果が不足し、上限を上回る場合には、回折レンズ構造による色収差補正効果が過剰になる。

【0023】条件[3]は、回折レンズ構造による回折作用の2次成分と、4次成分との比を規定する。この比が条件[3]を満たすことにより、球面収差の色収差を補正することができる。比が条件[3]の範囲から外れると、球面収差の色収差を適切に補正できなくなる。

*

λ : 405nm f : 2.5mm NA : 0.60

$n_{d,0.5}$: 1.44185 Δn : $-7.5 \times 10^{-5} / \text{nm}$ t : 1.60mm ν : 95.0

$n_{d,0.5}$: 1.62231 Δn_d : $-4.1 \times 10^{-4} / \text{nm}$ t_d : 0.60mm

u_{hd} : 1.50mm m : 1次

第1面

r 1.459

κ -0.4800

$A4$ -7.75717×10^{-3}

$A6$ 9.00752×10^{-4}

$A8$ -5.23422×10^{-4}

$A10$ 8.49317×10^{-4}

$A12$ -4.86639×10^{-4}

$P2$ -1.8000×10

*【0024】なお、対物レンズ10に形成された回折レンズ構造は、1次回折光を利用するよう設計されている。ただし、いずれの次数の回折光を利用するかは任意であり、例えば2次回折光を利用することもできる。1次回折光利用の設計で輪帯の幅が小さくなりすぎる場合には、2次回折光を利用するよう設計すれば、輪帯の幅を大きくして加工を容易にし、回折効率の低下を防ぐことができる。次に、上述した実施形態に基づく具体的な実施例を6例提示する。

10 【0025】

【実施例1】図2は、実施例1にかかる対物レンズ20と厚さ0.6mmの光ディスクの保護層D1を示す。実施例1の対物レンズ20は、第1面21に回折レンズ構造を有している。第1面21のベースカーブ(回折レンズ構造を除いた屈折レンズとしての形状)、第2面はいずれも非球面である。

20 【0026】非球面の形状は、光軸からの高さが h となる非球面上の座標点の非球面の光軸上での接平面からの距離(サグ量)を $X(h)$ 、非球面の光軸上での曲率 $(1/r)$ を C 、円錐係数を K 、 i 次(偶数次)の非球面係数を A_i として、以下の式で表される。

$$X(h) = Ch^2 / (1 + \sqrt{1 - (1 + K)C^2 h^2}) + A_4 h^4 + A_6 h^6 + A_8 h^8 + A_{10} h^{10} + \dots$$

30 【0027】実施例1の対物レンズの具体的な数値構成は、以下の表1に示される。表中、 λ 、 f 、 NA は、それぞれ使用波長(単位:nm)、回折レンズ構造を含めた対物レンズの焦点距離(単位:mm)、開口数を示す。また、 n 、 Δn 、 t はレンズの屈折率、屈折率の変化率、厚さを示し、 n_d 、 Δn_d 、 t_d は光ディスクの保護層の屈折率、屈折率の変化率、厚さを示す。 u_{hd} は回折レンズ構造が形成された面の有効径、 m は回折次数、 r は曲率半径である。表1では、第1面のベースカーブの曲率半径と非球面係数、回折レンズ構造を定義する係数、第2面の曲率半径と非球面係数の値が示されている。

【0028】

【表1】

第2面

-3.464

0.0000

3.46180×10^{-2}

2.37236×10^{-2}

-3.06734×10^{-2}

1.17906×10^{-2}

-1.67845×10^{-3}

-

P4 -1.7000

P6 -2.0000×10⁻¹

【0029】図3(A)は実施例1の対物レンズ20を光ディスクD1に適用した際の波長405nmにおける球面収差SAおよび正弦条件SC、(B)は波長405,404,406,395,415nmの球面収差により表される色収差を示している。各グラフの縦軸は開口数NA、横軸は収差の発生量を示し、単位はnmである。

【0030】また、図4は、各波長404,405,406,395,415nmにおけるデフォーカスと波面収差の発生量(rms値)との関係を示すグラフである。横軸がデフォーカス量(単位:mm)、縦軸が収差量(単位:波長)を示す。図3(B)、図4に示されるように、395nmを除く各波長においては、球面収差、波面収差の最小点がほぼ一致し、この範囲で色収差が良好に補正されていることがわかる。

【0031】実施例1で必要輪帯数、輪帯幅を計算すると、輪帯数は51、最小輪帯幅は11.8μmである。これに対し、レンズの仕様や光ディスクの保護層等の条件を変えずに、単レンズの材料を $n=55.8$ の樹脂材料に変えた場合、実施例1と同等の色収差補正をするためには輪帯数97、最小輪帯幅6.4μmとする必要がある。輪帯数が増*

 $\lambda: 420\text{nm}$ $f: 3.0\text{mm}$ $NA: 0.50$ $n_{d,0}: 1.50579$ $\Delta n: -8.5 \times 10^{-5}/\text{nm}$ $t: 1.60\text{mm}$ $\nu: 81.6$ $nd_{d,0}: 1.61663$ $\Delta nd: -3.5 \times 10^{-4}/\text{nm}$ $td: 0.60\text{mm}$ uhd: 1.50mm $m: 1$ 次

第1面

r 1.888

 $\kappa -0.4800$ A4 -1.73000×10^{-3} A6 -1.25000×10^{-4} A8 -5.33000×10^{-4} A10 3.50000×10^{-4} A12 -1.15000×10^{-4} P2 -1.8000×10

P4 -1.2500

P6 0.0000

第2面

-7.032

0.0000

 1.52000×10^{-2} -5.37000×10^{-3} 3.00000×10^{-3} -1.82000×10^{-3} 3.33000×10^{-4}

-

-

-

【0035】図5(A)は実施例2の対物レンズを光ディスクD1に適用した際の波長420nmにおける球面収差SAおよび正弦条件SC、(B)は波長420,419,421,410,430nmの球面収差により表される色収差を示している。また、図6は、各波長420,419,421,410,430nmにおけるデフォーカスと波面収差の発生量(rms値)との関係を示すグラフである。410nmを除く各波長においては、球面収差、波面収差の最小点がほぼ一致し、この範囲で色収差※

 $\lambda: 405\text{nm}$ $f: 3.0\text{mm}$ $NA: 0.50$ $n_{d,0}: 1.44185$ $\Delta n: -7.5 \times 10^{-5}/\text{nm}$ $t: 1.60\text{mm}$ $\nu: 95.0$ $nd_{d,0}: 1.62231$ $\Delta nd: -4.1 \times 10^{-4}/\text{nm}$ $td: 0.60\text{mm}$ uhd: 1.30mm $m: 1$ 次

第1面

r 1.709

第2面

-5.628

* 加し最小輪帯幅が小さくなることから、金型加工は困難となり、また、成形時の転写性の劣化が大きくなる。

【0032】なお、金型から回折レンズ構造をレンズ材料に転写する際に、輪帯間の段差のコーナー部分には、必然的に形状の「なまり」が発生する。上記の比較で、このなまりが同等であると仮定して回折効率を計算すると、実施例1では88.8%となるのに対し、樹脂材料を用いた場合は80.8%と大きな差が生じる。また、転写性はガラスより樹脂材料の方が高いため、その差を考慮して実施例1のコーナー部分の曲率半径を2倍にして計算しても82.8%の回折効率を得られ、樹脂製レンズよりも高い回折効率を得ることができる。

【0033】

【実施例2】以下の表2は、実施例2の対物レンズの数値構成を示す。レンズ形状は実施例1と同様であるため図示を省略する。実施例2の対物レンズは、第1面に回折レンズ構造を有している。

【0034】

【表2】

※ が良好に補正されていることがわかる。

【0036】

【実施例3】以下の表3は、実施例3の対物レンズの数値構成を示す。レンズ形状は実施例1と同様であるため図示を省略する。実施例3の対物レンズは、第2面に回折レンズ構造を有している。

【0037】

【表3】

	11	12
κ	-0.4800	0.0000
A4	-3.56800×10^{-3}	1.53000×10^{-2}
A6	5.20000×10^{-5}	-1.39000×10^{-3}
A8	-7.00000×10^{-4}	-2.50000×10^{-4}
A10	4.35000×10^{-4}	-6.30000×10^{-4}
A12	-1.61000×10^{-4}	1.62000×10^{-4}
P2	-	-3.2600×10
P4	-	4.5800
P6	-	-5.0300×10^{-1}

【0038】図7(A)は実施例3の対物レンズを光ディスクD1に適用した際の波長405nmにおける球面収差SAおよび正弦条件SC、(B)は波長405,404,406,395,415nmの球面収差により表される色収差を示している。また、図8は、各波長405,404,406,395,415nmにおけるデフォーカスと波面収差の発生量(rms値)との関係を示すグラフである。395nmを除く各波長においては、球面収差、波面収差の最小点がほぼ一致し、この範囲で色収差が良好に補正されていることがわかる。

10*【0039】

【実施例4】図9は、実施例4にかかる対物レンズ30と厚さ0.2mmの光ディスクの保護層D2を示す。実施例4の対物レンズ30は、第1面31に回折レンズ構造を有している。実施例4の対物レンズ30の具体的な数値構成は、以下の表4に示される。

【0040】

【表4】

* λ : 405nm f : 2.5mm NA: 0.60					
$n_{d,0}$:	1.44185	Δn :	$-7.5 \times 10^{-5} / \text{nm}$	t :	1.50mm
$nd_{d,0}$:	1.62231	Δnd :	$-4.1 \times 10^{-4} / \text{nm}$	td :	0.20mm
uhd:	1.50mm	m:	1次		
	第1面		第2面		
r	1.431		-4.030		
κ	-0.4800		0.0000		
A4	-8.80000×10^{-3}		2.40000×10^{-2}		
A6	1.00000×10^{-3}		3.08000×10^{-2}		
A8	-5.40000×10^{-4}		-3.30000×10^{-2}		
A10	1.10000×10^{-3}		1.19000×10^{-2}		
A12	-6.00000×10^{-4}		-1.62000×10^{-3}		
P2	-2.2800×10				
P4	-2.0000				
P6	-2.4000×10^{-1}				

【0041】図10(A)は実施例4の対物レンズ30を光ディスクD2に適用した際の波長405nmにおける球面収差SAおよび正弦条件SC、(B)は波長405,404,406,395,415nmの球面収差により表される色収差を示している。また、図11は、各波長405,404,406,395,415nmにおけるデフォーカスと波面収差の発生量(rms値)との関係を示すグラフである。395nmを除く各波長において、球面収差、波面収差の最小点がほぼ一致し、この範囲で色収差が良好に補正されていることがわかる。

※ 図で色収差が良好に補正されていることがわかる。

【0042】

【実施例5】以下の表5は、実施例5の対物レンズの数値構成を示す。レンズ形状は実施例1と同様であるため図示を省略する。実施例5の対物レンズは、第1面に回折レンズ構造を有している。

40【0043】

【表5】

λ : 405nm f : 2.5mm NA: 0.80					
$n_{d,0}$:	1.44185	Δn :	$-7.5 \times 10^{-5} / \text{nm}$	t :	2.60mm
$nd_{d,0}$:	1.62231	Δnd :	$-4.1 \times 10^{-4} / \text{nm}$	td :	0.60mm
uhd:	2.00mm	m:	1次		
	第1面		第2面		
r	1.480		-2.182		
κ	-0.6500		0.0000		
A4	1.82000×10^{-3}		1.11200×10^{-1}		
A6	-4.30000×10^{-4}		-2.24000×10^{-2}		

13	14
A8 1.70000×10^{-4}	-8.33000×10^{-3}
A10 -5.68000×10^{-6}	9.20000×10^{-3}
A12 -2.94000×10^{-5}	-3.24000×10^{-3}
A14 5.25000×10^{-5}	4.49000×10^{-4}
A16 -2.48200×10^{-5}	3.73400×10^{-5}
A18 4.62000×10^{-6}	-1.98100×10^{-5}
A20 -3.47000×10^{-7}	1.86480×10^{-6}
P2 -1.5520×10	
P4 -9.0000	
P6 -3.7500×10^{-1}	

【0044】図12(A)は実施例5の対物レンズを光ディスクD1に適用した際の波長405nmにおける球面収差SAおよび正弦条件SC、(B)は波長405,404,406,395,415nmの球面収差により表される色収差を示している。また、図13は、各波長405,404,406,395,415nmにおけるデフォーカスと波面収差の発生量(rms値)との関係を示すグラフである。395nmを除く各波長においては、球面収差、波面収差の最小点がほぼ一致し、この範囲で色収差が良好に補正されていることがわかる。

*

λ : 405nm f : 2.5mm NA : 0.60
 $n_{d,0}$: 1.44185 Δn : $-7.5 \times 10^{-5}/nm$ t : 1.80mm ν : 95.0
 uhd : 1.50mm m : 1次

第1面	第2面
r 1.459	-3.428
κ -0.4800	0.0000
A4 2.00000×10^{-3}	1.13300×10^{-1}
A6 1.35000×10^{-5}	-8.66000×10^{-2}
A8 -1.00000×10^{-3}	3.79000×10^{-2}
A10 1.60000×10^{-4}	-9.34000×10^{-3}
A12 -2.28650×10^{-4}	9.74800×10^{-4}
P2 -2.5000×10	
P4 -1.4000	
P6 -5.0000×10^{-1}	

【0047】図15(A)は実施例6の対物レンズ40を透明保護層のない光ディスクD3に適用した際の波長405nmにおける球面収差SAおよび正弦条件SC、(B)は波長405,404,406,395,415nmの球面収差により表される色収差を示している。また、図16は、各波長405,404,406,395,415nmにおけるデフォーカスと波面収差の発生量(rms値)との関係を示すグラフである。395nm、415nmを除く各波長においては、球面収差、波面収差の最小点が*

*【0045】

【実施例6】図14は、実施例6にかかる対物レンズ40と保護層を有しない光ディスクD3とを示す。実施例6の対物レンズ40は、第1面41に回折レンズ構造を有している。実施例6の対物レンズ40の具体的な数値構成は、以下の表6に示される。

【0046】

【表6】

※はほぼ一致し、この範囲で色収差が良好に補正されていることがわかる。

【0048】以下の表7は、前記の条件[1],[2],[4],[3]に対する各実施例の値を示す。いずれの実施例も、全ての条件を満たしており、色収差を良好に補正することができる。

【0049】

【表7】

	条件[1]	条件[2][4]	条件[3]
条件範囲	0.0045より小	-0.015~-0.007	-0.30~0.30
実施例1	0.0029	-0.0095	0.213
実施例2	0.0044	-0.0099	0.156
実施例3	0.0029	-0.0077	-0.237
実施例4	0.0029	-0.0090	0.197
実施例5	0.0029	-0.0110	0.232
実施例6	0.0029	-0.0088	0.126

【0050】

50 【発明の効果】以上説明したように、この発明によれ

ば、単レンズである屈折レンズの一面に回折レンズ構造を形成することにより、かつ、レンズ材料として屈折率の波長による変化率が小さい材料を選ぶことにより、F線より短い波長の領域において、色収差が良好に補正された対物レンズを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 この発明の実施形態にかかる光ヘッド用対物レンズの形状を示す(A)正面図、(B)側面図、(C)一部拡大図。

【図2】 実施例1の対物レンズを示すレンズ図。

【図3】 実施例1の対物レンズの(A)球面収差および正弦条件、(B)球面収差の色収差をそれぞれ示すグラフ。

【図4】 実施例1の光学系のデフォーカスと波面収差との関係を示すグラフ。

【図5】 実施例2の対物レンズの(A)球面収差および正弦条件、(B)球面収差の色収差をそれぞれ示すグラフ。

【図6】 実施例2の光学系のデフォーカスと波面収差との関係を示すグラフ。

【図7】 実施例3の対物レンズの(A)球面収差および正弦条件、(B)球面収差の色収差をそれぞれ示すグラフ。

10

20

*

*【図8】 実施例3の光学系のデフォーカスと波面収差との関係を示すグラフ。

【図9】 実施例4の対物レンズを示すレンズ図。

【図10】 実施例4の対物レンズの(A)球面収差および正弦条件、(B)球面収差の色収差をそれぞれ示すグラフ。

【図11】 実施例4の光学系のデフォーカスと波面収差との関係を示すグラフ。

【図12】 実施例5の対物レンズの(A)球面収差および正弦条件、(B)球面収差の色収差をそれぞれ示すグラフ。

【図13】 実施例5の光学系のデフォーカスと波面収差との関係を示すグラフ。

【図14】 実施例6の対物レンズを示すレンズ図。

【図15】 実施例6の対物レンズの(A)球面収差および正弦条件、(B)球面収差の色収差をそれぞれ示すグラフ。

【図16】 実施例6の光学系のデフォーカスと波面収差との関係を示すグラフ。

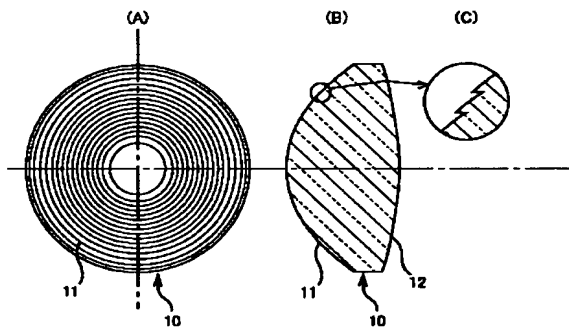
【符号の説明】

10 対物レンズ

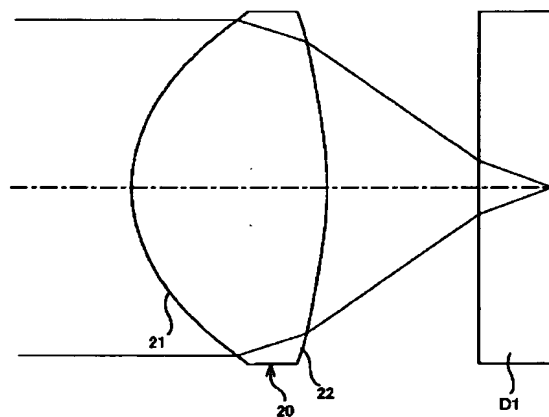
11 第1面

12 第2面

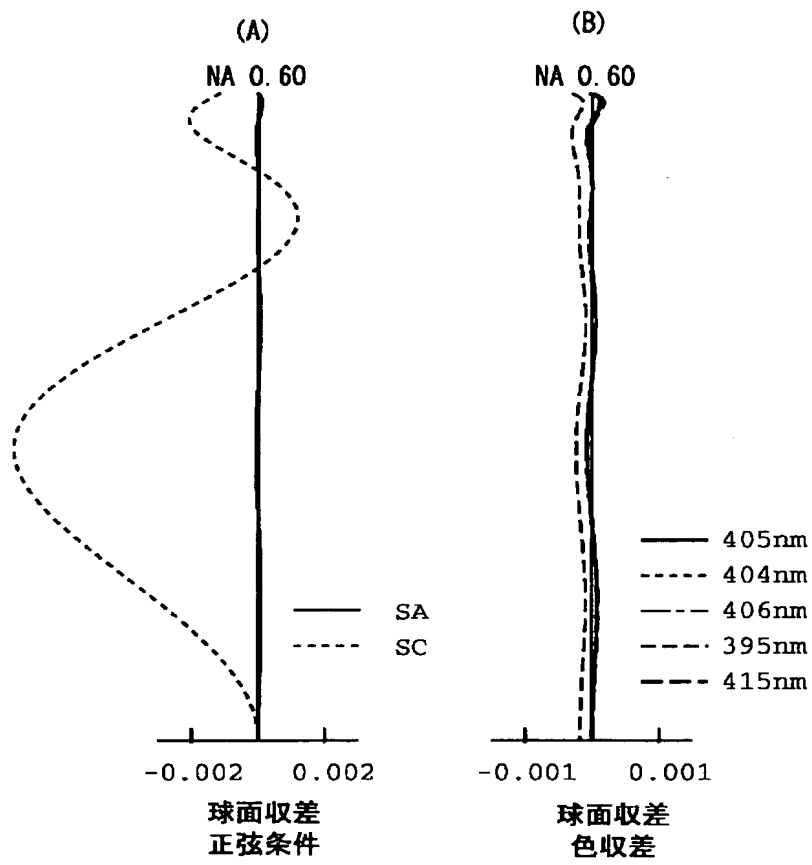
【図1】



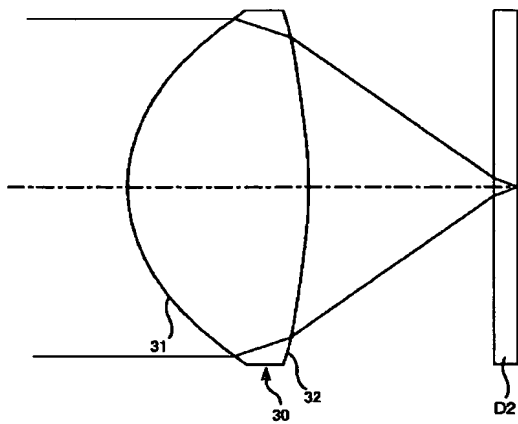
【図2】



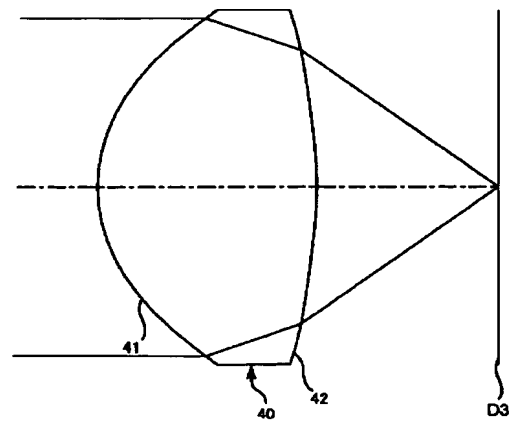
【図3】



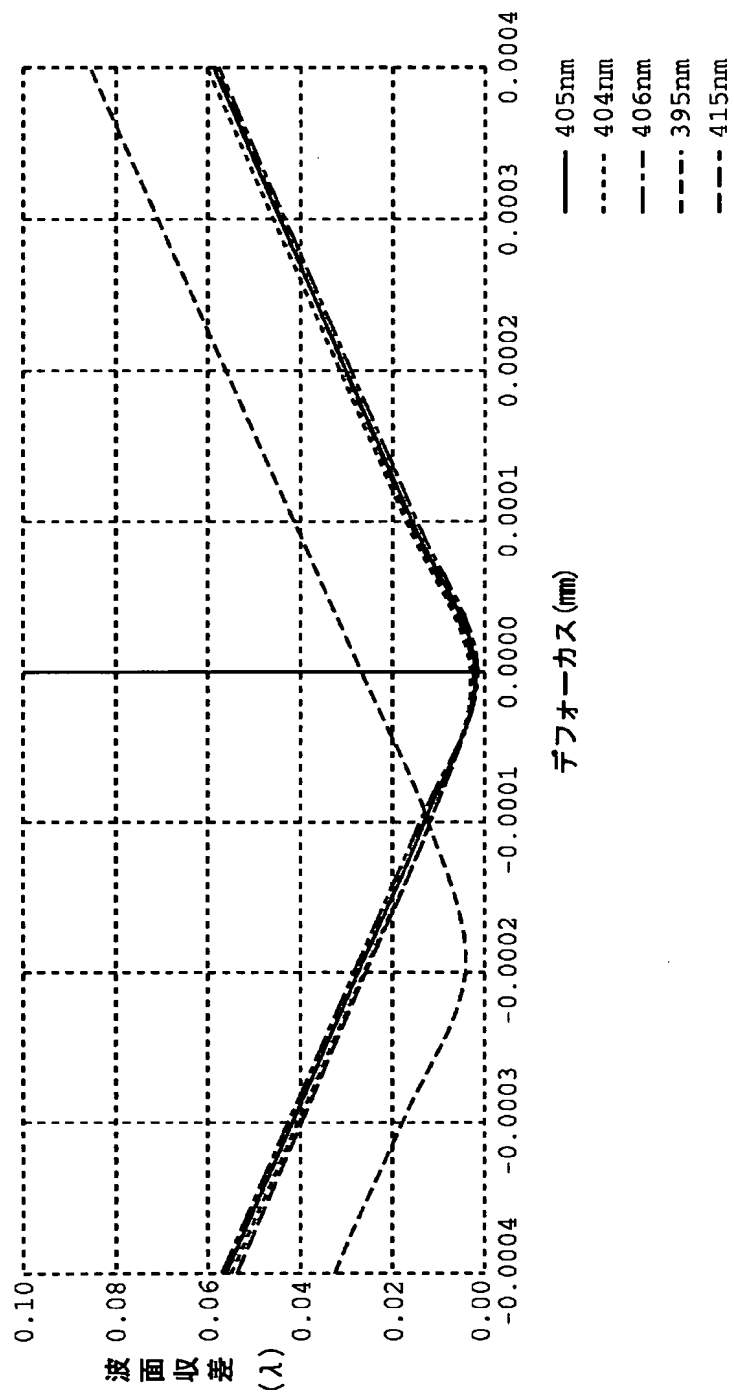
【図9】



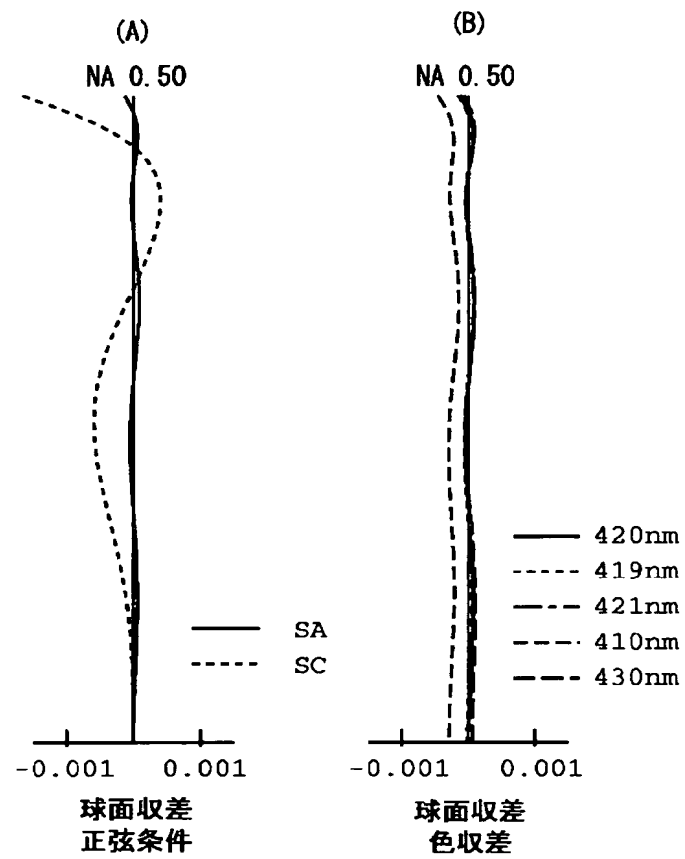
【図14】



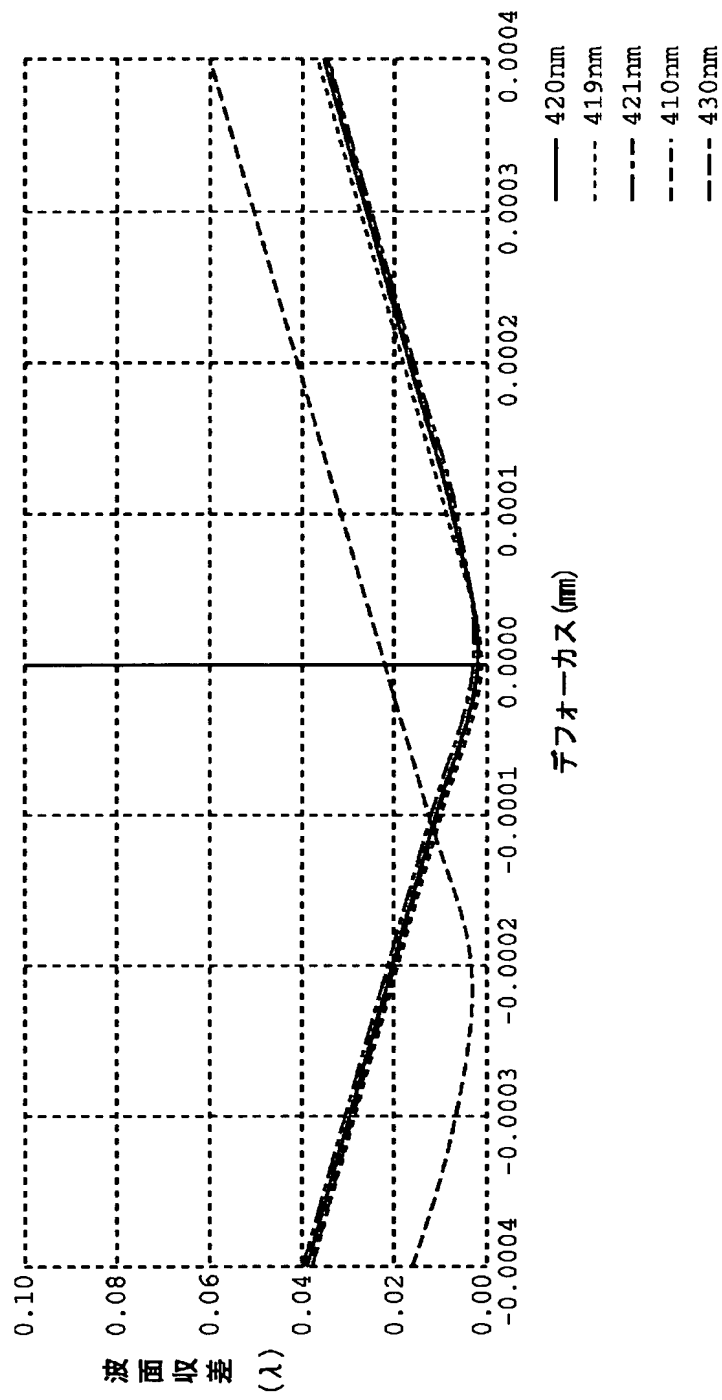
【図4】



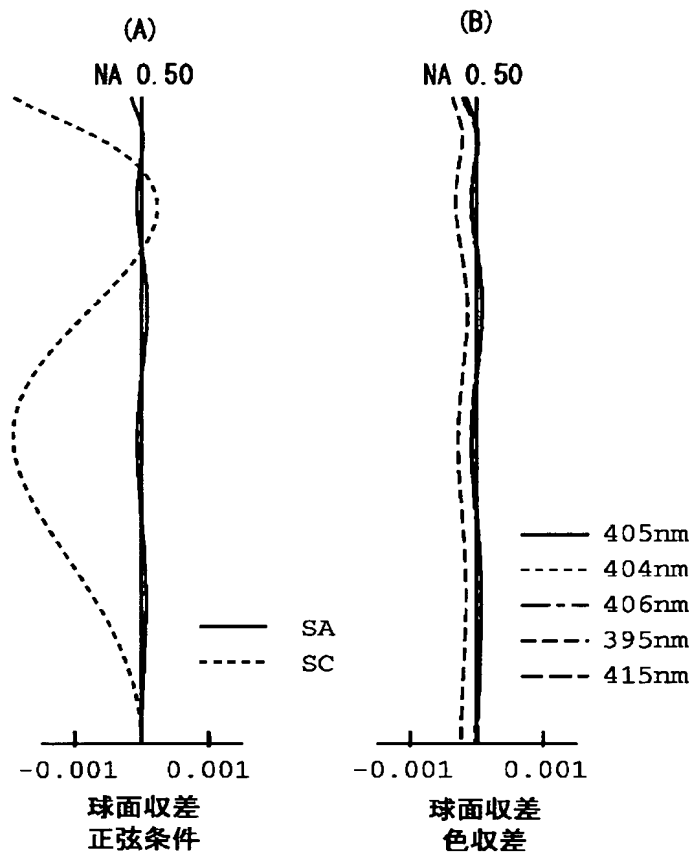
【図5】



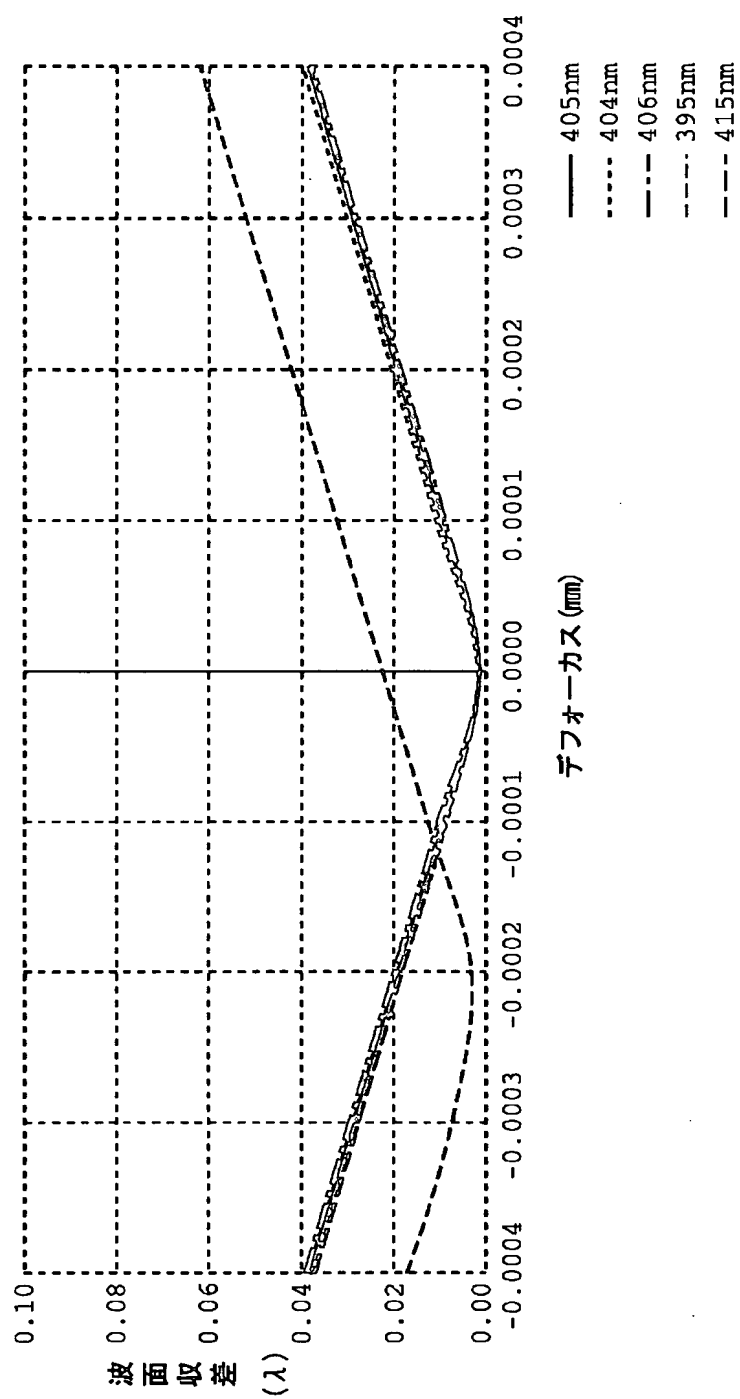
【図6】



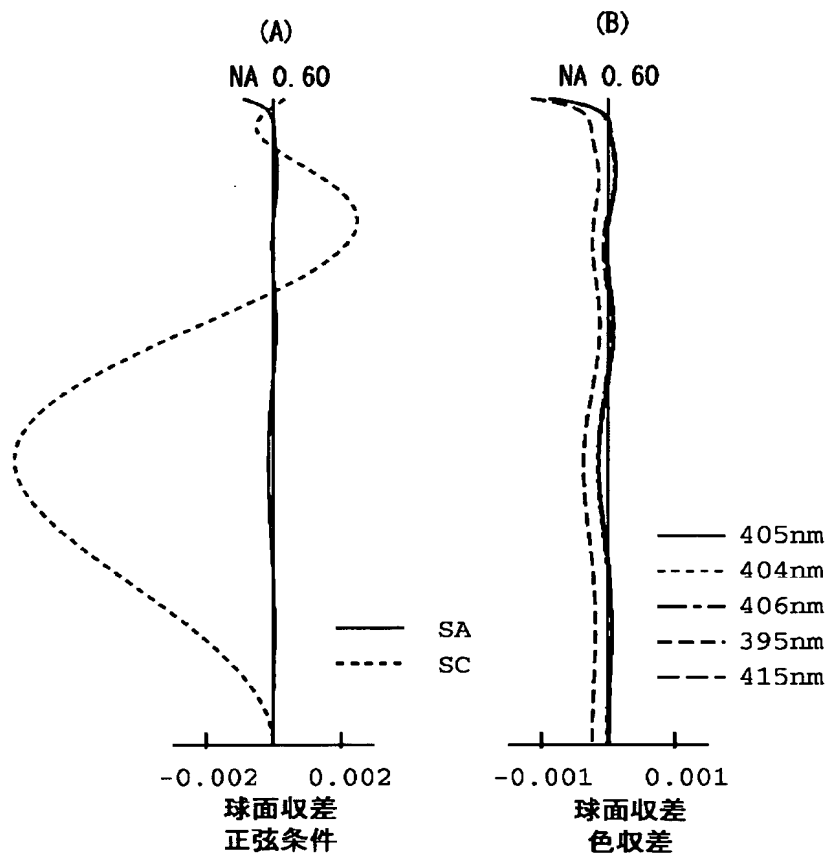
【図7】



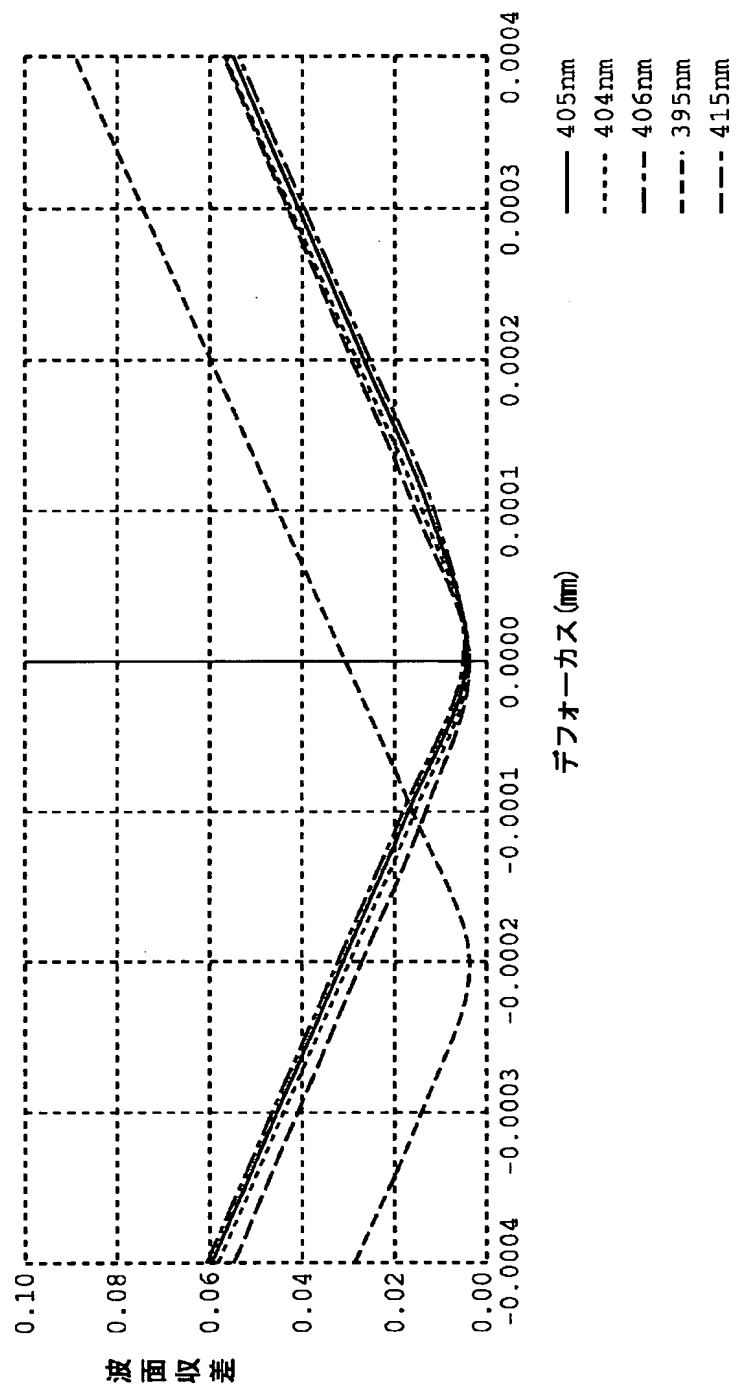
【図8】



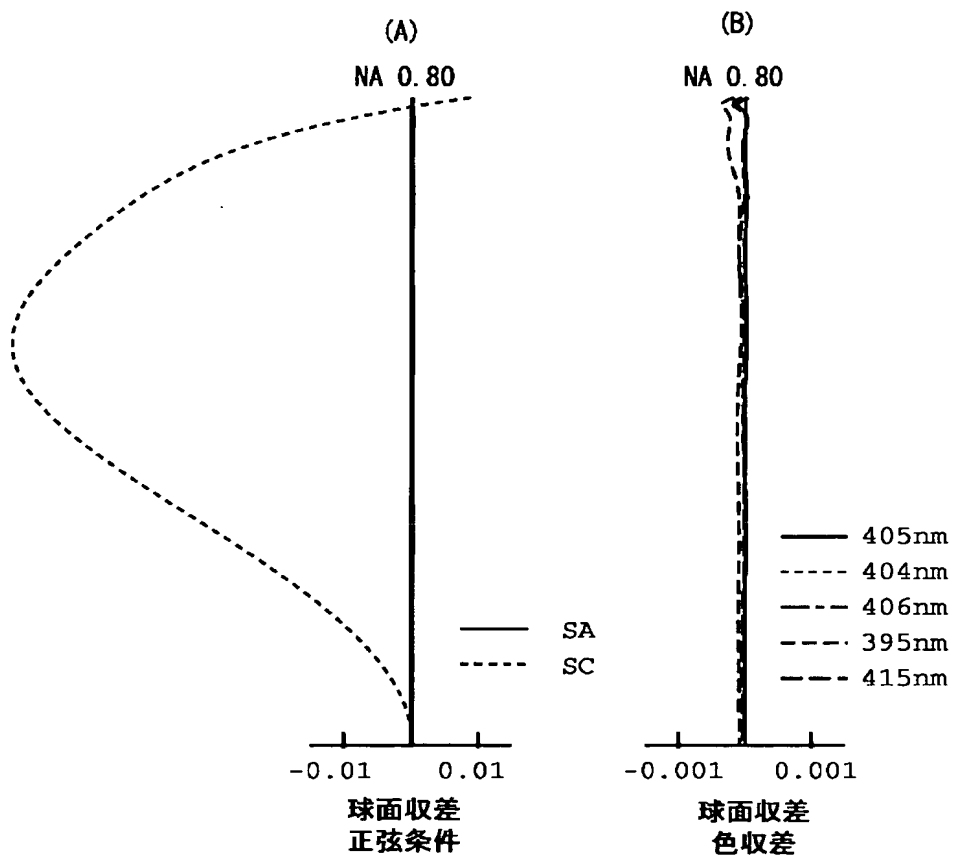
【図10】



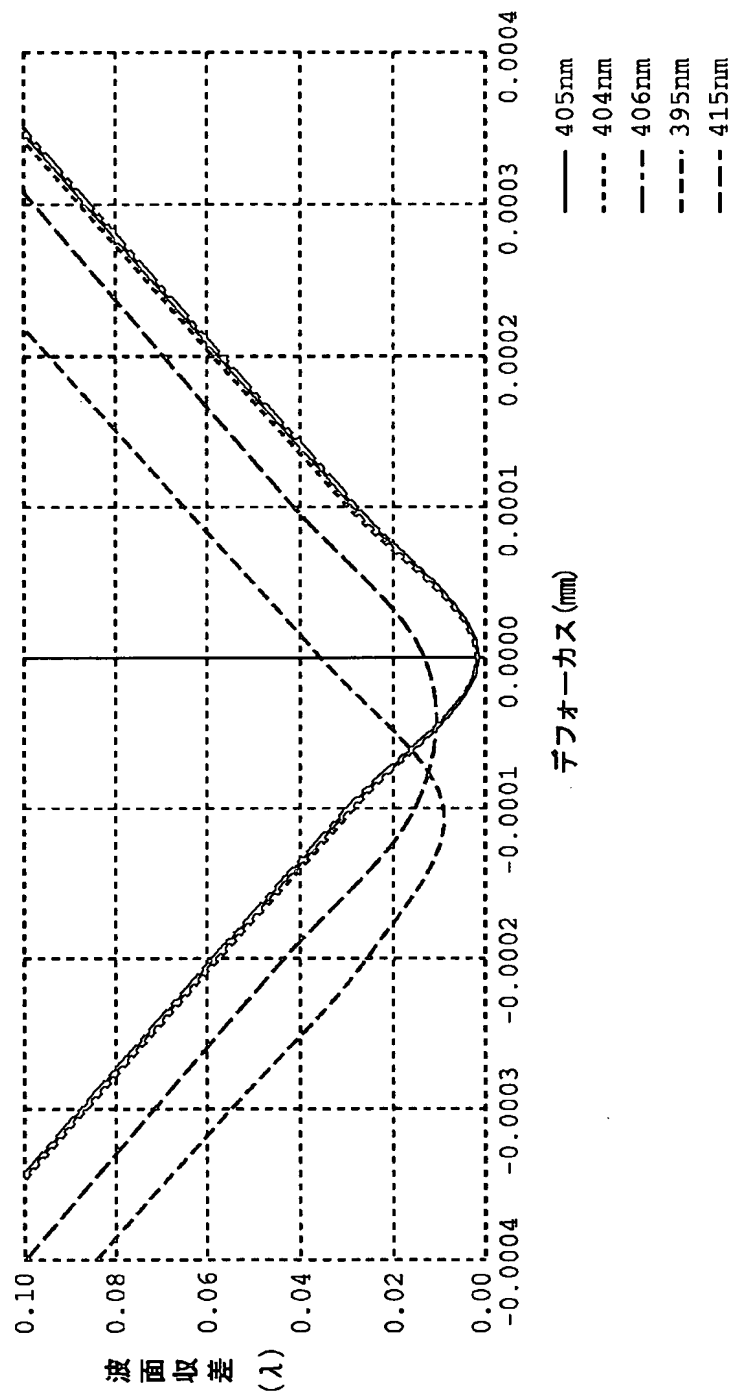
【図11】



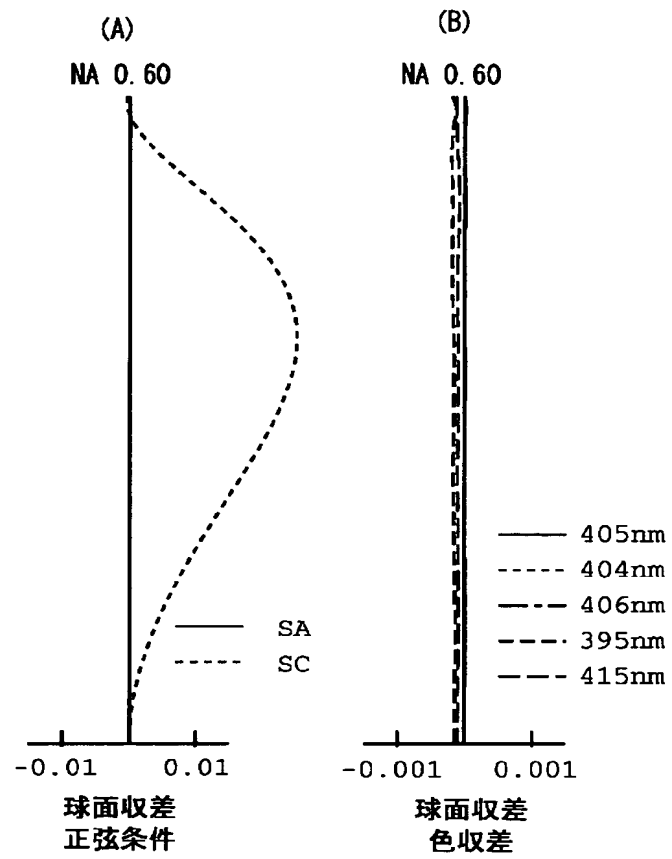
【図12】



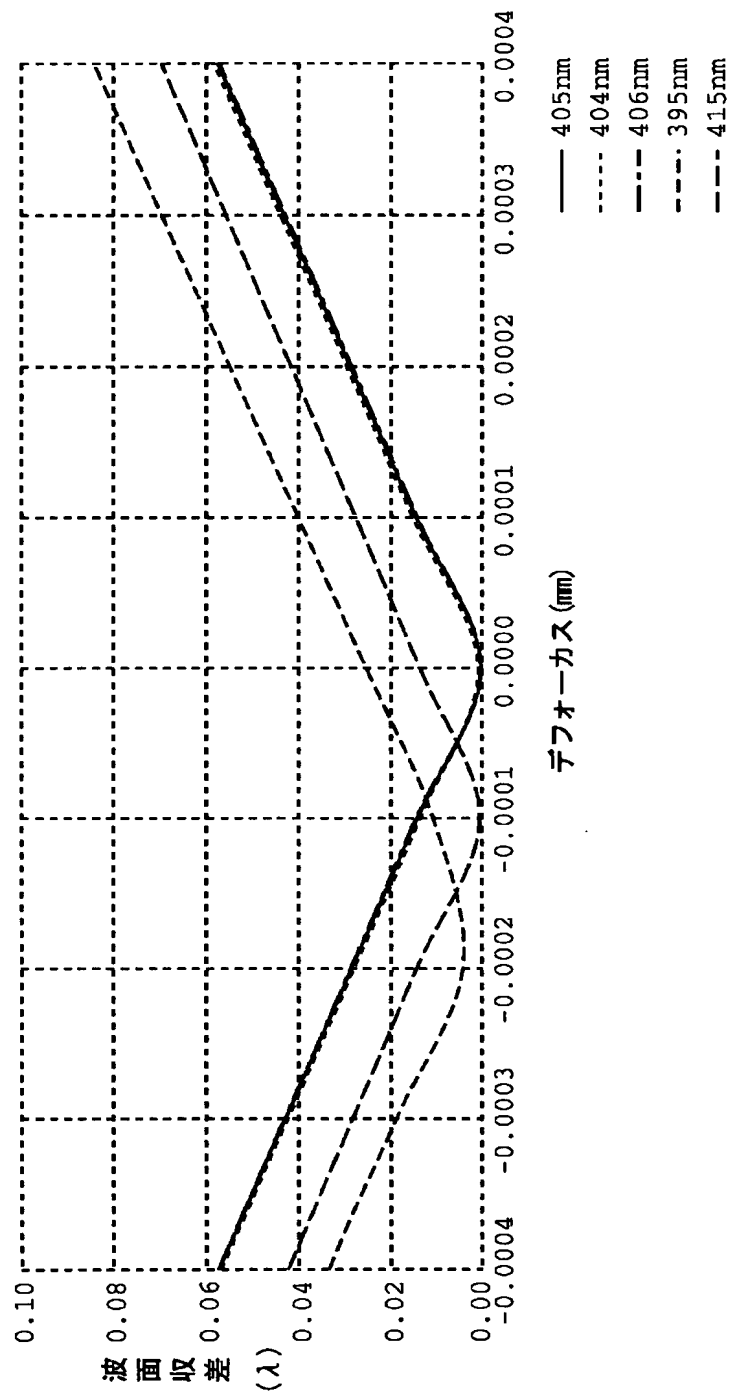
【図13】



【図15】



【図16】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINE(S) OR MARK(S) ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.